



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 102 43 271 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
F 02 P 23/04

②① Aktenzeichen: 102 43 271.6
②② Anmeldetag: 18. 9. 2002
④③ Offenlegungstag: 4. 12. 2003

DE 102 43 271 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

⑦① Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:
Thiel, Michael, 71229 Leonberg, DE; Ruoss,
Hans-Oliver, 70569 Stuttgart, DE; Kantz, Julia,
74080 Heilbronn, DE; Landstorfer, Friedrich, 81249
München, DE; Linkenheil, Klaus, 70329 Stuttgart,
DE; Waldmann, Jan, 70619 Stuttgart, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:

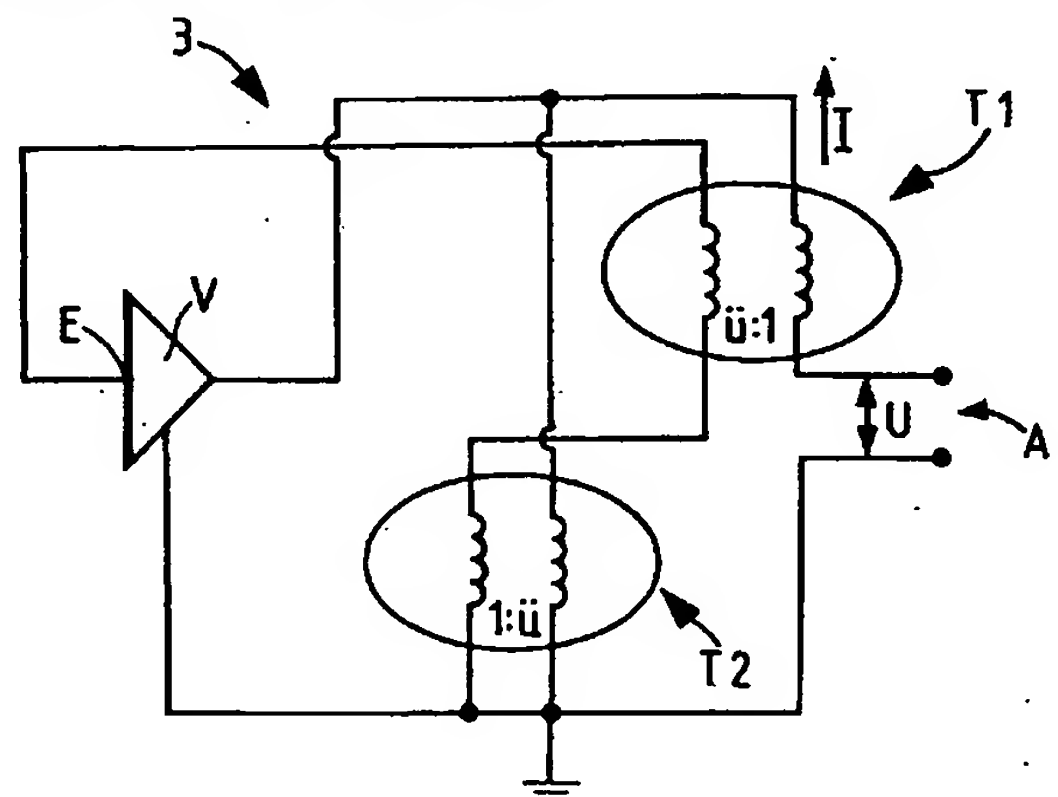
DE	100 61 672 A1
DE	35 27 041 A1
US	47 87 360 A
JP	57-1 86 067 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor

⑤⑦ Es wird eine Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mittels einer hochfrequenten elektrischen Energiequelle vorgeschlagen. Hierbei ist eine einen Resonatorraum bildende koaxiale Wellenleiterstruktur (6, 7) vorhanden, in die die hochfrequente elektrische Energie an einer vorgegebenen Einkoppelstelle (4) an einem Innenleiter (7) der Wellenleiterstruktur (6, 7) einspeisbar ist. Bei der Schaltungsanordnung (3) zur Erzeugung und/oder Verstärkung der einzukoppelnden hochfrequenten Energie ist ein Rückkoppelnetzwerk (T1, T2) angeordnet, mit dem eine Leistungsanpassung der Schaltungsanordnung (3) an eine veränderliche Lastimpedanz, die im wesentlichen durch die physikalischen Verhältnisse am anderen Ende, insbesondere an einem Zündstift (7a), des Innenleiters (7) gebildet sind, durchführbar ist.



DE 102 43 271 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mittels einer hochfrequenten Energiequelle nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

[0002] Die Zündung eines solchen Luft-Kraftstoff-Gemischs mit Hilfe einer sogenannten Zündkerze stellt einen üblichen Bestandteil von Verbrennungsmotoren für Kraftfahrzeuge dar. Bei diesen heute eingesetzten Zündsystemen wird die Zündkerze induktiv mittels einer Zündspule mit einer genügend hohen elektrischen Spannung versorgt, so dass sich ein Zündfunke am Ende der Zündkerze im Brennraum des Verbrennungsmotors herausbildet um die Verbrennung des Luft-Kraftstoff-Gemischs einzuleiten.

[0003] Beim Betrieb dieser herkömmlichen Zündkerze können Spannungen bis über dreißig Kilovolt auftreten, wobei durch den Verbrennungsprozess Rückstände, wie Ruß, Öl oder Kohle sowie Asche aus Kraftstoff und Öl auftreten, die unter bestimmten thermischen Bedingungen elektrisch leitend sind. Es dürfen jedoch bei diesen hohen Spannungen keine Über- oder Durchschläge am Isolator der Zündkerze auftreten, so dass der elektrische Widerstand des Isolators auch bei den auftretenden hohen Temperaturen während der Lebensdauer der Zündkerze sich nicht verändern sollte.

[0004] Es ist beispielsweise aus der DE 198 52 652 A1 eine Zündvorrichtung bekannt, bei der die Zündung eines solchen Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges unter Verwendung eines koaxialen Leitungsresonators vorgenommen wird. Hierbei wird die Zündspule durch eine genügend starke Mikrowellenquelle, z. B. eine Kombination aus einem Hochfrequenzgenerator und einem Verstärker, ersetzt. Mit einem geometrisch optimierten koaxialen Leitungsresonator stellt sich dann die für die Zündung erforderliche Feldstärke am offenen Ende des kerzenähnlichen Leitungsresonators ein und zwischen den Elektroden der Kerze bildet sich mit dem Spannungsüberschlag eine zündfähige Plasmastrecke heraus.

[0005] Eine solche Hochfrequenzzündung ist auch in dem Aufsatz "SAE-Paper 970071, Investigation of a Radio Frequency Plasma Ignitor for Possible Internal Combustion Engine Use" beschrieben. Auch bei dieser Hochfrequenz- bzw. Mikrowellenzündung wird ohne eine übliche Zündspule eine Hochspannung mittels einer niederohmigen Einspeisung am sogenannten heißen Ende einer $\lambda/4$ -Leitung eines HF-Leitungsresonators erzeugt.

[0006] In herkömmlicher Weise wird die zuvor erwähnte Mikrowellenquelle auf einen bestimmten Betriebszustand ausgelegt, wobei für eine Anwendung als Hochfrequenzzündung im allgemeinen aber mindestens zwei grundlegende Betriebszustände, nämlich der ungezündete Zustand und der gezündete Zustand, auftreten. Der Übergangsbereich zwischen diesen Zuständen und zusätzliche Einflussparameter wie z. B. die im Brennraum herrschende Temperatur, die Rußbelegung und der Druck wirken sich dabei nachhaltig auf das Resonanz- und Impedanzverhalten des Hochfrequenzresonators aus. Dies hat in der Regel zur Folge, dass nur noch ein Bruchteil der zur Verfügung stehenden Leistung in den Resonator eingekoppelt wird. Der restliche Anteil wird reflektiert und belastet oder zerstört unter Umständen das hier verwendete Leistungshalbleiterbauelement im dem Oszillator nachgeschalteten Verstärker. Gegebenenfalls kann auch eine Zündung im Brennraum komplett verhindert werden.

[0007] Für sich gesehen sind Schaltungsanordnungen,

z. B. aus der US-PS 3 426 298 oder der US-PS 3 624 536, bekannt, mit denen das Impedanzverhalten von Hochfrequenzschaltungen über eine geeignete Rückkopplung positiv beeinflusst werden kann.

Vorteile der Erfindung

[0008] Die Erfindung geht aus von einer Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mittels einer hochfrequenten elektrischen Energiequelle, mit einer einen Resonatorraum bildenden koaxialen Wellenleiterstruktur, in die die hochfrequente elektrische Energie an einer vorgegebenen Einkoppelstelle am einen Ende des Innenleiters der koaxialen Wellenleiterstruktur einspeisbar ist. Das anderen Ende des Innenleiters ragt in den jeweiligen Brennraum eines Zylinders des Verbrennungsmotors hinein, wobei an diesem Ende durch ein hohes Spannungspotential ein Mikrowellenplasma erzeugbar ist. Die koaxiale Wellenleiterstruktur ist dabei so ausgebildet, dass sich für eine vorgegebene effektive Wellenlänge λ_{eff} der eingekoppelten hochfrequenten Schwingung ein Leitungsresonator in etwa nach der Beziehung $(2n + 1) \cdot \lambda_{\text{eff}}/4$ mit $n \geq 0$ ergibt und die hochfrequente Schwingung beispielsweise durch eine kapazitive, induktive, gemischte oder eine Aperturkopplung eingekoppelt wird. Die effektive Wellenlänge λ_{eff} wird dabei im wesentlichen durch die Formgebung des Endes des herausragenden Innenleiters, durch die Abdichtung des Dielektrikums bzw. durch die Formgebung des gesamten Leitungsresonators bestimmt.

[0009] Mit dieser Vorrichtung erfolgt die Zündung eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor unter Verwendung eines z. B. von seiner Geometrie her optimierten koaxialen Resonators. Die für die Zündung erforderliche Leistung wird durch eine geeignete frei schwingende Oszillatorschaltung in den Resonator eingekoppelt und die erforderliche Feldstärke stellt sich am offenen Ende des kerzenähnlichen Resonators ein, wodurch an dieser Stelle eine Plasmaflamme entsteht.

[0010] In der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist in vorteilhafter Weise eine Schaltungsanordnung zur Erzeugung und/oder Verstärkung der einzukoppelnden hochfrequenten Energie mit einem Rückkoppelnetzwerk vorhanden. Mit diesem Rückkoppelnetzwerk ist eine Leistungsanpassung der Schaltungsanordnung an eine veränderliche Lastimpedanz, die im wesentlichen durch die physikalischen Verhältnisse am anderen Ende des Innenleiters gebildet sind, durchführbar. Das Rückkoppelnetzwerk ist in besonders vorteilhafter Weise als ein Vierpolnetzwerk ausgeführt, dessen Eingangsimpedanz durch die aus den physikalischen Verhältnisse am anderen Ende des Innenleiters gebildeten Rückkoppelsignale beeinflusst ist und dessen Ausgangsimpedanz aus der mit der Transmissionsverstärkung gewichteten Eingangsimpedanz gebildet ist.

[0011] Die Erfindung ermöglicht auf einfache Weise eine geeignete adaptive Anpassung des oben beschriebenen koaxialen Resonators an die vorgeschaltete Oszillatorschaltung. Somit wird in jedem Betriebszustand gewährleistet, dass ein Großteil der verfügbaren Leistung in den Resonator eingekoppelt wird. Die hier vorgenommene Kompensation der physikalischen Verhältnisse im oder am Resonator erfolgt durch die Abhängigkeit der Leistungseinkopplung von den Betriebsparametern. Daher ist das erfinderische Konzept vor allem auch für den nachträglichen Einbau in bereits existierende Verbrennungsmotoren geeignet.

[0012] Wesentlich bei der Erfindung ist, dass durch das Rückkoppelnetzwerk ein Verstärker mit angeschlossener Last, die eine variable Eingangsimpedanz besitzt, auf einfache Weise zu einem Vierpoloszillator erweitert werden

kann. Der Verstärker wird dabei aus einer Eingangsquelle mit einer variablen Innenimpedanz gespeist, wobei die Regelung dieser Eingangsimpedanz durch die entsprechend dimensionierte Rückkopplung erfolgt.

[0013] Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist das Rückkoppelnetzwerk aus jeweils einem Übertrager für den am Ausgang auftretenden Strom und einem Übertrager für die am Ausgang auftretende Spannung gebildet, wobei die Werte für den jeweiligen Strom oder Spannung mit einem jeweils vorgegebenen Übersetzungsverhältnis auf den Eingang des Rückkoppelnetzwerks zurückgeführt werden.

[0014] In vorteilhafter Weise kann damit die Regelung der Eingangsimpedanz durch die geeignete Rückkopplung einer der Ausgangsspannung bzw. dem Ausgangsstrom proportionalen Spannung zum Eingang des Verstärkers vorgenommen werden. Der Ausgangsstrom und die Ausgangsspannung werden dabei direkt durch die zeit- und betriebszustandsvariante Eingangsimpedanz der Zündkerze beeinflusst, so dass dann am Eingang des Verstärkers die aus den Rückkopplungssignalen gebildete Innenimpedanz gebildet ist und diese Eingangsimpedanz erscheint, gewichtet mit der Transmissionsimpedanz S_{21} des Verstärkers, als Ausgangsimpedanz am Ausgang des Verstärkers.

[0015] Zusammenfassend ergeben sich damit die Vorteile, dass insbesondere mit einer einfach auszuführenden geeigneten Auslegung des Rückkopplungsnetzwerks bzw. der Teilnetzwerke in Form der Übertrager für Strom und Spannung, eine Leistungsanpassung des Verstärkers an variable Lastimpedanzen erreichbar ist. Weiterhin kann der Verstärker für die einzukoppelnde Energie auf einfache Weise als ein Halbleiterverstärker mit einer im Betriebsfrequenzbereich der Zündung ausreichenden Verstärkung ausgebildet sein.

[0016] Die wesentlichen Vorteile einer solchen Hochfrequenzzündkerze gegenüber der herkömmlichen Verwendung einer Zündspule sind auch hier vor allem eine Kosteneinsparung durch die Möglichkeit zur Miniaturisierung. Die bei der vorgeschlagenen Vorrichtung erreichte weitgehende Wärmewertfreiheit ermöglicht zudem eine Reduzierung der Typenvielfalt und damit ebenfalls eine Kosteneinsparung.

[0017] Dadurch, dass hier am coaxialen Wellenleiter auf einfache Weise ein elektrisches Mess- oder Steuersignal auskoppelbar ist, das von den physikalischen Größen des freistehenden Plasma im Luft-Kraftstoff-Gemisch abhängig ist, wird prinzipiell eine Einstellbarkeit der Flammgröße ermöglicht, womit ein vergrößertes Zündvolumen im Vergleich zur herkömmlichen Zündkerze und eine gute Einleitung der Flammfront in den Brennraum erreichbar ist. Dies führt zu einer Erhöhung der Zündsicherheit insbesondere bei Magergemischmotoren und bei einer Benzin-Direkteinspritzung.

[0018] Ferner sind zusätzliche Freiheitsgrade durch die Steuerbarkeit der Brenndauer aufgrund der Möglichkeit der Ableitung eines Steuersignals vorhanden. Das ausgekoppelte elektrische Signal ist in einer Auswerteschaltung weiterverarbeitbar, mit der eine Regelung der hochfrequenten Energiequelle und/oder eine Steuerung vorgegebener Betriebsfunktionen bewirkbar ist. Diese Steuerbarkeit aufgrund der Möglichkeit der Verbrennungsdiagnostik und damit der Optimierung der Motorsteuerung führt zu einem geringeren Verschleiß der als Zündelektroden wirkenden Strukturen und es ist außerdem auch ein gesteuertes Abbrennen von Verunreinigungen, z. B. von Ruß, möglich.

Zeichnung

[0019] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

[0020] Fig. 1 eine prinzipielle Ansicht einer Vorrichtung zum hochfrequenten Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mit einer coaxialen Wellenleiterstruktur als Resonator und

[0021] Fig. 2 ein Schaltungsbeispiel einer Verstärkerschaltungsanordnung zur Erzeugung der in die Wellenleiterstruktur einzukoppelnden hochfrequenten Energie mit einem Rückkopplungsnetzwerk.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

[0022] In Fig. 1 ist eine Prinzipansicht einer Vorrichtung zum hochfrequenten Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor gezeigt, die Bestandteile einer sogenannten Hochfrequenzzündkerze 1 aufweist. Es sind hier im einzelnen ein HF-Generator 2 und ein eventuell auch verzichtbarer Verstärker 3 vorhanden, die als Mikrowellenquelle die hochfrequenten Schwingungen erzeugen. Schematisch ist hier eine induktive Einkopplung 4 der hochfrequenten Schwingungen in eine als $\lambda/4$ -Resonator 5 aufgebaute coaxiale Wellenleiterstruktur als wesentlicher Bestandteil der Hochfrequenzzündkerze 1 gezeigt.

[0023] Der coaxiale Resonator 5 besteht aus einem Außenleiter 6 und einem Innenleiter 7, wobei das eine sogenannte offene oder heiße Ende 8 des Resonators 5 mit dem Innenleiter als Zündstift 7a die Zündung bewirkt. Für die hochfrequenten Schwingungen stellt das andere sogenannte kalte brennraumferne Ende 9 des Resonators 5 einen Kurzschluss dar. Das Dielektrikum 10 zwischen dem Außenleiter 6 und einem Innenleiter 7 besteht im wesentlichen aus Luft oder aus einem geeigneten nichtleitenden Material. Lediglich zur Abdichtung des offenen Endes 8 des Resonators 5 zum Brennraum ist eine Dichtung 11 vorhanden. Die Dichtung 11 besteht auch aus einem nichtleitenden Material, das den Temperaturen im Brennraum standhält, z. B. Keramik. Dabei bestimmen die dielektrischen Eigenschaften des Füllmaterials 10 bzw. der Abdichtung 11 mit die Abmessungen des Resonators 5.

[0024] Bei dieser Hochfrequenzzündkerze 1 wird das Prinzip der Feldüberhöhung in einem coaxialen Resonator 5 der Länge $(2n + 1) \cdot \lambda_{\text{eff}}/4$ mit $n \geq 0$ genutzt. Das durch eine genügend starke Mikrowellenquelle als Generator 2 und ev. dem Verstärker 3 erzeugte hochfrequente Signal wird durch die Einkopplung 4, z. B. induktiv, kapazitiv oder eine Aperturkopplung, in den Resonator 5 eingespeist. Durch die Ausbildung eines Spannungsknotens am Kurzschluss am brennraumfernen Ende 9 und eines Spannungsbauchs am einen offenen Ende 8 ergibt sich hier am Ende 8 eine Feldüberhöhung. Dieser Effekt kann durch mindestens einen zusätzlichen Zündstift 7a noch verstärkt werden, was zu einer Erhöhung der Zündsicherheit führt.

[0025] Aus Fig. 2 ist ein ebenfalls prinzipieller Aufbau einer Schaltungsanordnung, insbesondere der Verstärkerschaltung 3 nach der Fig. 1, zur Erzeugung und/oder Verstärkung der einzukoppelnden hochfrequenten Energie ersichtlich, bei der ein Rückkoppelnetzwerk vorhanden ist. Das hier gezeigte Rückkopplungsnetzwerk weist einen ersten Übertrager T1 auf, der mit einem entsprechend gewählten Übersetzungsverhältnis $ü$ die Größe des am Ausgang A auftretenden Stroms I auf den Eingang E des Verstärkers V in Form einer Spannungsbeaufschlagung abbildet.

[0026] Weiterhin ist gemäß der Fig. 2 ein zweiter Übertrager T2 als weiterer Bestandteil des Rückkoppelnetzwerks vorhanden, der mit einem entsprechend gewählten Übersetzungsverhältnis $ü$ die Größe der am Ausgang A auftretenden Spannung U auf dem Eingang E des Verstärkers V in Form einer weiteren Spannungsbeaufschlagung abbildet.

[0027] Mit diesem dargestellten Rückkoppelnetzwerk aus

den Übertragern T1 und T2 ist ein Vierpolnetzwerk gebildet, das eine Leistungsanpassung der Schaltungsanordnung an eine veränderliche Lastimpedanz, die im wesentlichen durch die physikalischen Verhältnisse am Zündstift 7a des Innenleiters 7 gebildet sind, durchführbar. Die Eingangsim- 5
pedanz S_{11} ist dabei durch Rückkoppelsignale beeinflusst und die Ausgangsimpedanz S_{22} ist aus der mit der Transmissionsverstärkung S_{21} gewichteten Eingangsimpedanz gebil-
det.

10

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Ge-
mischs in einem Verbrennungsmotor mittels einer
hochfrequenten elektrischen Energiequelle, mit 15
 - einer einen Resonatorraum bildenden coaxialen
Wellenleiterstruktur (6, 7), in die die hochfre-
quente elektrische Energie an einer vorgegebenen
Einkoppelstelle (4) am einen Ende eines Innenlei-
ters (7) der Wellenleiterstruktur (6, 7) einspeisbar 20
ist und
 - bei der die Wellenleiterstruktur (6, 7) mit dem
anderen Ende des Innenleiters (7) in den jeweili-
gen Brennraum eines Zylinders des Verbren-
nungsmotors hineinragt, wobei an diesem Ende 25
durch ein hohes Spannungspotential ein Mikro-
wellenplasma erzeugbar ist, **dadurch gekenn-
zeichnet**, dass
 - eine Schaltungsanordnung (3) zur Erzeugung
und/oder Verstärkung der einzukoppelnden hoch- 30
frequenten Energie ein Rückkoppelnetzwerk (T1,
T2) aufweist, mit dem eine Leistungsanpassung
der Schaltungsanordnung (3) an eine veränderli-
che Lastimpedanz, die im wesentlichen durch die
physikalischen Verhältnisse am anderen Ende des 35
Innenleiters (7) gebildet sind, durchführbar ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekenn-
zeichnet, dass
 - das Rückkoppelnetzwerk (T1, T2) ein Vierpol-
netzwerk ist, dessen Eingangsimpedanz (S_{11}) 40
durch die, aus den physikalischen Verhältnisse am
anderen Ende, insbesondere einem Zündstift (7a),
des Innenleiters (7) gebildeten Rückkoppelsignale
beeinflusst ist und dessen Ausgangsimpedanz 45
(S_{22}) aus der mit der Transmissionsverstärkung
(S_{21}) gewichteten Eingangsimpedanz (S_{11}) gebil-
det ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekenn-
zeichnet, dass
 - das Rückkoppelnetzwerk aus jeweils einem 50
Übertrager (T1) für den am Ausgang (A) auftreten
Strom (I) und einem Übertrager (T2) für die am
Ausgang (A) auftretende Spannung (U) gebildet
ist, wobei die Werte für den jeweiligen Strom (I)
oder die Spannung (U) mit einem jeweils vorge- 55
gebenen Übersetzungsverhältnis (\bar{u}) auf den Ein-
gang des Rückkoppelnetzwerks bzw. eines Ver-
stärkers (V) zurückgeführt werden.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, dass 60
 - der Verstärker (V) für die einzukoppelnde Ener-
gie ein Halbleiterverstärker mit einer im Betriebs-
frequenzbereich der Zündung ausreichenden Ver-
stärkung ist.

65

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

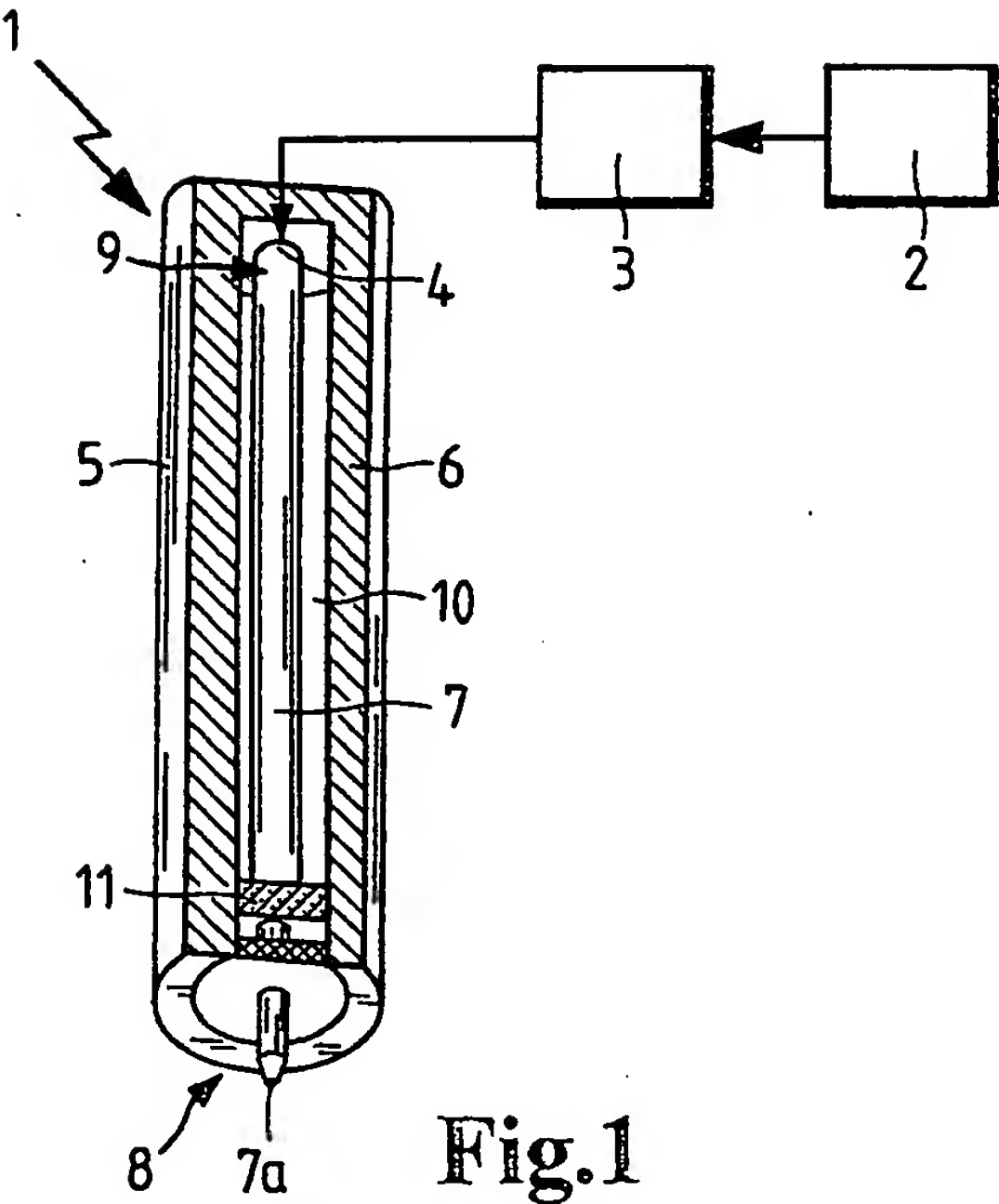


Fig.1

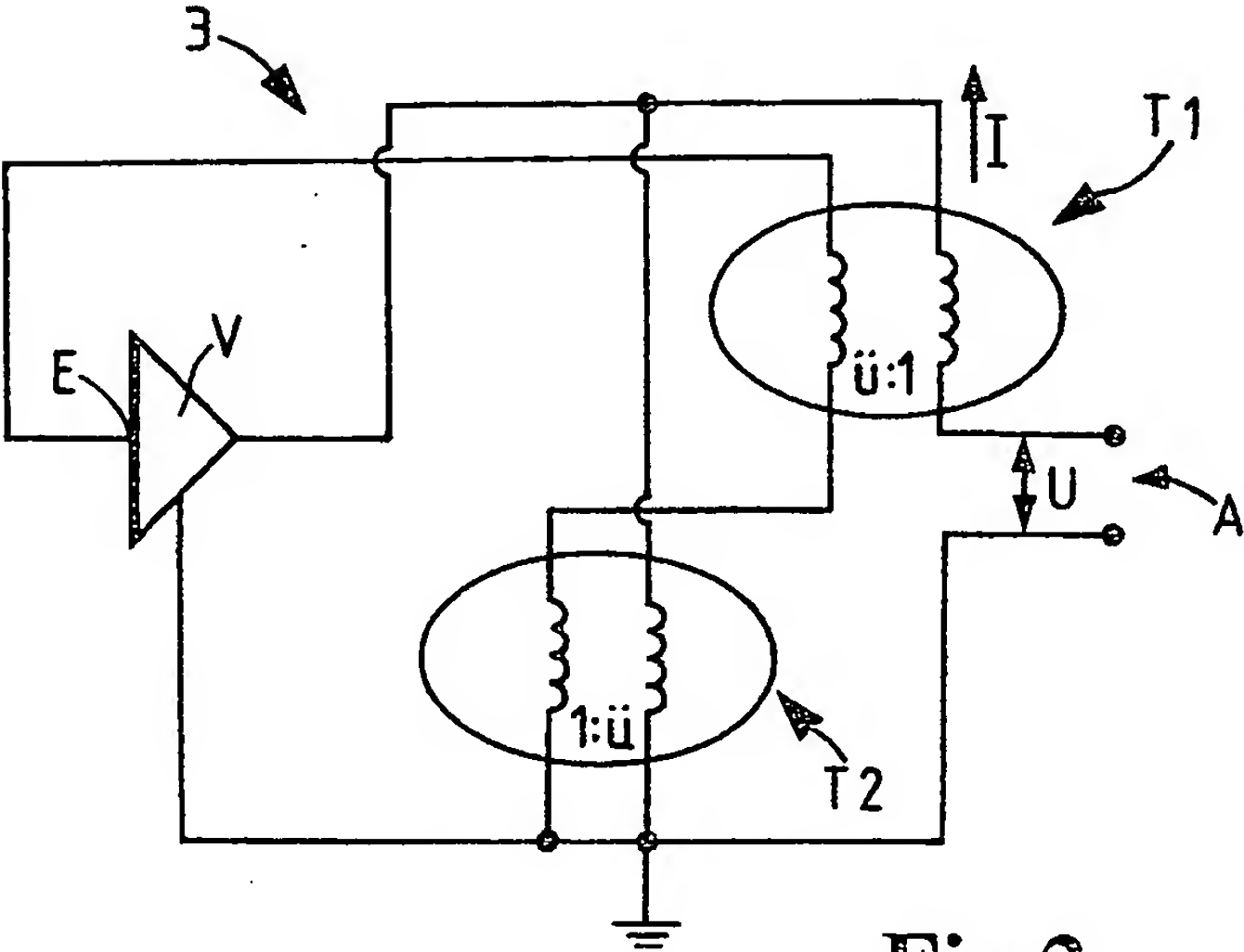


Fig.2